유기 발광 다이오드의 온도에 따른 전도특성

이동규*, 김태완**, 이준웅*
광운대학교*, 홍익대학교**

Characteristics of Electrical Conduction Mechanism of OLED with Various Temperature

Dong-Gyu Lee*, Tae-Wan Kim**, Joon-Ung Lee*
Kwangwoon University*, Hongik University**

Abstract

We have studied conduction mechanism that is interpreted in terms of space charge limited current (SCLC) region and tunneling region. The OLEDs are based on the molecular compounds, N,N'-diphenyl-N,N'-bis(3-methylphenyl)-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine (TPD) as a hole transport, tris (8-hydroxyquinolinoline) aluminum(Ⅲ) (Alq_3) as an electron injection and transport and emitting layer. We manufactured reference structure that has in ITO/TPD/Alq_3/Al. Buffer layer effects were compared to reference structure. And we have analyzed out electrical conduction mechanism in ITO/Alq_3/Al device with various temperature.

Key Words : OLED, Conduction mechanism

1. 서 론

1987년에 Tang과 VanSlyke가 유기 발광 소자를 구현한 이후, 유기 발광 소자는 디스플레이 장치의 응용 가능성 때문에 많은 흥미를 유발시키고 있다. 특히 Tang 이후 높은 효율과 견고한 내구성을 지닌 발광 소자를 얻고자 많은 분야에서 연구가 진행되어 왔다[1-3]. 유기 발광 소자는 위성 방송과 HDTV 그리고 3차원 영상 처리 기술의 발달로 디스플레이 소자로써 각광을 받을 것으로 예상되고 있다.

유기 발광 소자에서의 전기 전도 메카니즘의 해석은 고전계 영역에서의 전압-전류 특성이 전극에서 유기물 층으로 주입되는 정공과 전자의 터널링으로 해석하고, 저전계 영역에서는 공간 전하 영향으로 해석하여 왔다. 본 논문에서는 유기 발광 소자의 전기 전도 메카니즘을 해석하고자 10K에서 300K까지의 온도 변화에 대하여 전압-전류 특성을 분석하였고 보았고 온도 변화에 따른 전압-휘도를 측정하였다[4,5].

2. 실 험

본 연구에서 양극으로는 ITO(Indium-Tin-Oxide)를 사용하였고, Al을 음극으로 사용하여 소자의 구조를 ITO/Alq_3(100nm) /Al(150nm)로 하였다. 양

극으로 사용한 ITO 기판은 표면 저항이 15 Ω/□ 이고 두께가 170 nm로 삼성 코닝사에서 제조하였다. 유기물층으로 사용한 Alq_3(tris(8-hydroxyquinolinate) aluminum)는 TCI 사의 제품으로 분자량은 459.44이며 베이스 압력 5×10^{-6} torr의 진공도에서 열 증착하였다. 음극으로 사용한 Al도 베이스 압력 5×10^{-6} torr의 진공도에서 열 증착하였으며 두께는 150 nm이다. 소자의 발광 면적은 15mm^{2}로 하였다.

소자의 전압-전류 특성은 Keithley 236 source- measure unit, 617 electrometer 그리고 Si-photo diode (Centronics Co. OSD100-5T)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

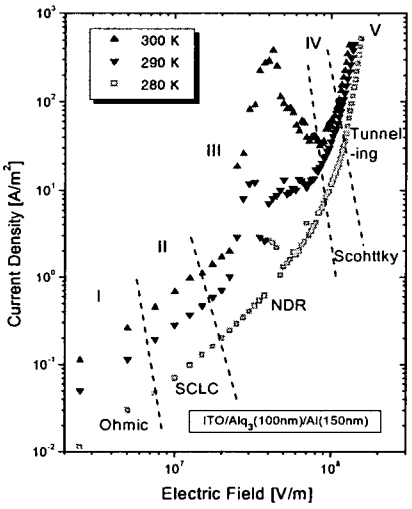

그림 1. 유기발광 다이오드의 온도에 따른 전계-전류.

Fig 1. Plot of current vs electric field of several constant temperature in the OLED.

유기발광다이오드에서 온도에 따른 전도전류의 전계의존성을 고찰하기 위하여 그림 1과 같이 ohimic 전도전류 영역, 공간전하 제한전류 영역, 부성저항 영역, 쇼트키 전도전류 영역 및 터너링 전도전류 영역으로 나누어 검토 하였다.

3.1 옴전도전류 영역 (제 I 영역)

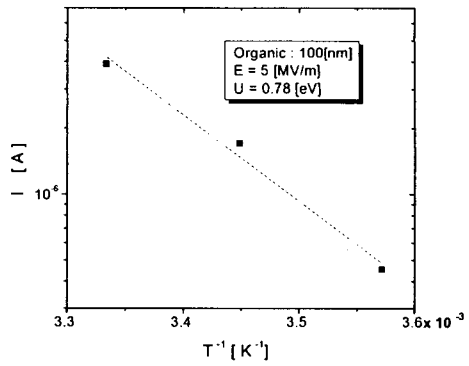

그림 2. 옴영역에서 I vs. T^{-1}.

Fig 2. Plot of current I vs T^{-1} at Ohm region.

일반적으로 유전체 내에서는 캐리어의 밀도가 적으므로 드리프트 전류에 비하여 확산전류는 무시되는 것이 관례이다. 그림 1에서 280[K], 8[MV/m] 이하의 전계에서는 전자가 전극으로부터 주입되기는 어려운 것으로 알려져 있으며 따라서 이 영역에서 전도 전류에 기여하는 주 캐리어는 전자성이라기 보다 이온성 전도전류라 생각된다.

그림 2는 5[MV/m]의 일정한 전계에서 흐르는 이온전류를 Arrhenius 법칙으로 도시한 것인데 이 그림으로부터 계산된 전위장벽의 높이는 0.78[eV] 이었다.

3.2 공간전하 제한 전류영역 (제 II 영역)

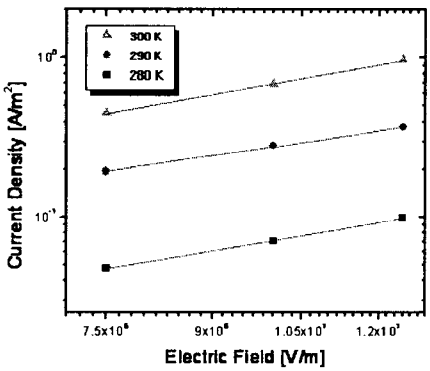

그림 3. 공간전하제한전류영역에서의 전계-전류밀도

Fig 3. Plot of current vs electric field in the range of SCLC region.

공간전하 제한 전류 영역에서 J-V 관계를 시료의 두께에 따라 관측한 결과 약 2승의 값을 얻었다. 따라서 제 II 영역은 Child' law에 의한 공간 전하 제한 전류가 흐르는 것으로 사료된다

3.3 부성저항 영역 (제 III 영역)

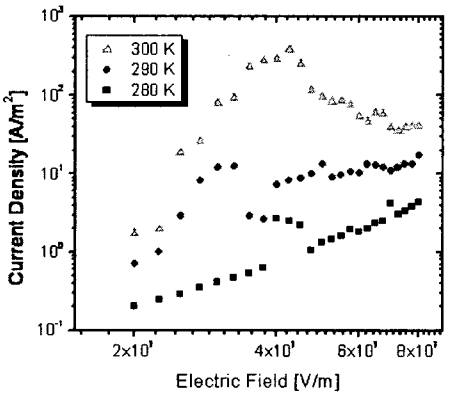

그림 4. 부성저항영역에서의 전계-전류밀도
Fig 4. Plot of current vs electric field in the range of NDR region.

그림 4의 제 III 영역은 온도 280[K] ~ 300[K], 전계 30[MV/m] ~ 80[MV/m] 사이에서 부성저항이 나타나고 있는데 이와 같은 현상은 Gunn다이오드나 Tunnel다이오드와 같은 반도체 소자에서도 관측되며 고속 스위칭, 초고주파 발진 등에 이용된다.

3.4 쇼트키 전도전류 영역 (제 IV 영역)

일반적으로 금속전극에 고전계가 인가되면 실제적으로 전극과 유전체나 반도체 계면에서의 전위장벽은 저하되어 금속으로부터 시료내로 많은 수의 전자가 주입되기 쉽게 되어 전도전류는 증가하게 된다.

$$J_s = AT^2 \exp\frac{\beta_s E^{1/2} - \phi_D}{kT} \quad , \quad \beta_s = \sqrt{\frac{e^3}{4\pi\varepsilon}}$$

이 기울기로부터 $\beta_s = 4.47 \times 10^{-24}$과 비유전율 $\varepsilon_r = 1.85$를 얻었는데 이 수치는 Alq_3의 비유전율 2 정도인 것을 감안하면 수긍할 수 있는 수치로 생각되며 Toureille도 이 전계 영역에서는 쇼트키 전도전류가 흐르는 것으로 인정하고 있다.

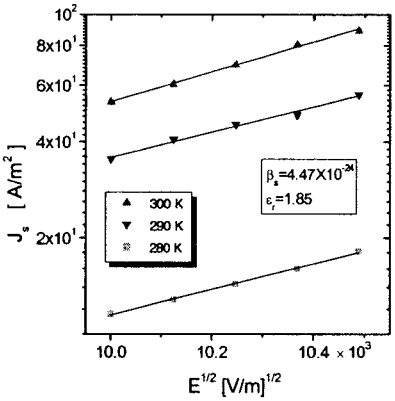

그림 5. 쇼트키영역에서의 $J-E^{1/2}$
Fig 5. Plot of log J vs. $E^{1/2}$ in Schottky region constructed to obtain β_s and ε_r.

금속전극의 유전체에 대한 일함수 ϕ_D를 구하기 위해 100[MV/m]에서 $\log J_s/T^2 \; vs. \; 10^{-3}/T$를 도시한 것이 그림 6인데 그 기울기로부터 계산된 $\phi_D = 0.52[eV]$를 얻었으며 100[MV/m]일 때 전위장벽의 감소는 $0.29[eV]$로 전자가 전극으로부터 쉽게 주입됨을 알 수 있었다.

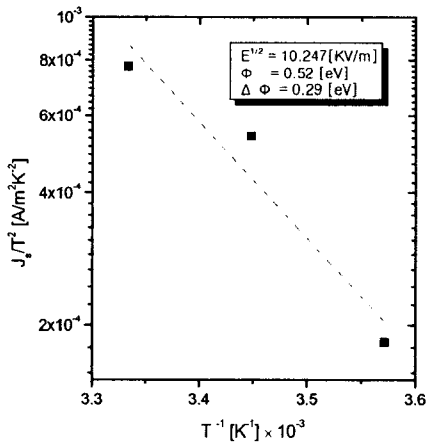

그림 6. 쇼트키 영역에서 아레니우스 플롯
Fig 6. Arrhenius plot in Schottky region.

3.5 터널형 전도전류 영역 (제 V 영역)

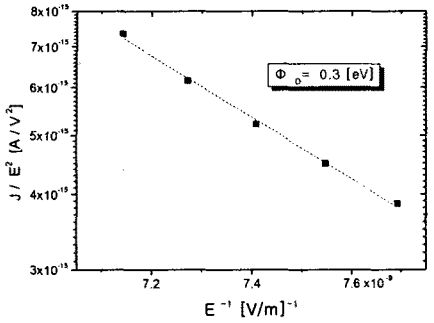

그림 7. 터널링 영역에서 log J/E^2 - E^{-1}
Fig 7. Plot of log J/E^2 vs. E^{-1} in Tunneling current region.

터널링 전류 J는

$$J_{FN} = AE^2 \exp\left(-\frac{B}{E}\right), \quad B = \frac{8\pi(2m)^{1/2}\phi_b^{3/2}}{2.96he}$$

로 표시되는데 $\log(J/E^2) \sim 1/E$의 관계로 도시한 그림7의 기울기로부터 전위장벽의 높이는 약 0.3[eV]를 얻었다.

일반적으로 120[MV/m] 이상의 고전계가 시료에 인가되면 전위장벽의 실제적인 두께가 100[Å] 정도로 얇아져 전극으로부터 시료내로 터널효과에 의한 전자주입이 급증하게 되는데 이때 인가 전계가 계속 점점 상승하게 되면 결국 시료는 절연파괴에 이르게 된다.

또 터널전류는 온도에 무관함을 터널 전류식으로부터 알 수 있으나 실제 그림1의 터널전류는 온도에 의존하고 있다. 이는 특수한 경우로 먼저 전극으로부터 주입된 전자들이 시료내에 트랩되어 터널한 후 열여기에 의해 전도대로 상승하는 간접터널형은 트랩깊이에 상당한 온도의존을 나타내는 것으로 생각된다.

4. 결 론

유기 발광 다이오드에서 전계에 따른 전도 메카니즘을 다섯영역으로 구분하였다. 옴영역에서 활성화 에너지는 0.78[eV]이었고, 차일드 법칙에 의한 공간전하 제한전류영역, 부성저항영역이다. 그리고 쇼트키 영역에서 Alq_3의 비유전율은 1.85로 계산되었고 에너지 장벽은 0.52[eV]에서 100[MV/m]인가 시 0.29[eV]의 에너지 장벽 감소를 보였고, 터널링 영역에서 0.3[eV]의 전위장벽 높이를 얻을 수 있었다.

참고 문헌

[1] C. W. Tang, S. A. Vanslyke, "Organic Electroluminescent", Appl. Phys. Lett. 51, p. 913, 1987.

[2] Ananth Dodabalapur, "Organic Light Emitt- ing Diodes", Solid State Commun. 102, 259 1997.

[3] N. C. Greenham and R. H. Friend, "Semiconductor Device Physics of Conjugared Polymer", in Solid State Physics (Ed.s H. Ehrenreich and F. Spaepen) 49, pp. 1-149, 1995.

[4] Sang-Keol Kim, "Efficiency Improvement and Electrical Properties of Organic Light-Emitting Diodes", Ph.D. Thesis, p. 115, 2002.

[5] W. Reiss, "Chapter 2", Organic Electro luminescent Materials and Devices, 1997.